

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 7月23日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-222127

出 願 人

Applicant(s):

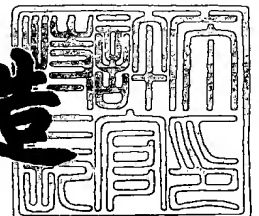
株式会社荏原製作所



2001年11月16日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3099727

【書類名】 特許願

【整理番号】 EB2517P

【提出日】 平成13年 7月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01B 07/06

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作  
所内

【氏名】 多田 光男

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県藤沢市本藤沢 4 丁目 1 番 1 号 株式会社 荏原  
電産内

【氏名】 山崎 裕延

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作  
所内

【氏名】 須藤 康成

【特許出願人】

【識別番号】 000000239

【氏名又は名称】 株式会社 荏原製作所

【代表者】 依田 正稔

【代理人】

【識別番号】 100091498

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 勇

【選任した代理人】

【識別番号】 100092406

【弁理士】

【氏名又は名称】 堀田 信太郎

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000-358032

【出願日】 平成12年11月24日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 026996

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9112447

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 渦電流センサ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 導電性膜に生じる渦電流損の変化から前記導電性膜の膜厚を検出する渦電流センサにおいて、

前記導電性膜に渦電流を生じさせるセンサコイルと、該コイルに接続され前記渦電流損に対応して可変周波数を発振する能動素子部とが一体的に構成されたことを特徴とする渦電流センサ。

【請求項 2】 前記発振回路の発振周波数は、VHF 帯であることを特徴とする請求項 1 記載の渦電流センサ。

【請求項 3】 前記渦電流損の変化を発振周波数の変化として検出することを特徴とする請求項 1 記載の渦電流センサ。

【請求項 4】 基板を保持する保持具と研磨面を備え、基板上に半導体デバイスを形成した面を前記研磨面に摺接させて研磨するポリッシング装置において、

前記基板の被研磨面の下方又は上方に前記基板上の被研磨面に形成された導電性膜の膜厚を計測できる渦電流センサを設け、

該渦電流センサは、前記導電性膜に渦電流を生じさせるセンサコイルと、該コイルに接続され前記渦電流損に対応して可変周波数を発振する発振回路とが一体的に構成されたことを特徴とするポリッシング装置。

【請求項 5】 前記渦電流センサは、前記研磨面の下方に複数個配置されていることを特徴とする請求項 4 記載のポリッシング装置。

【請求項 6】 導電性膜に生じる渦電流損の変化から前記導電性膜の膜厚を検出する渦電流センサにおいて、

前記導電性膜に渦電流を生じさせるセンサコイルを備え、該センサコイルと前記導電性膜により形成されるインピーダンスのうち、抵抗成分の変化から前記導電性膜の膜厚の変化を検出することを特徴とする渦電流センサ。

【請求項 7】 前記抵抗成分に加え、リアクタンス分、位相及び振幅の変化を出力することを特徴とする請求項 6 記載の渦電流センサ。

【請求項 8】 導電性膜の近傍に配置されるセンサコイルと、該センサコイルに交流信号を供給する信号源と、前記センサコイル端子より取り出した信号の  $\sin$  成分と  $\cos$  成分を分離する同期検波器とを備えたことを特徴とする渦電流センサ。

【請求項 9】 前記  $\cos$  成分よりセンサコイル端子から見たインピーダンスのうち、抵抗成分を取り出すことを特徴とする請求項 8 記載の渦電流センサ。

【請求項 10】 研磨対象の導電性膜の近傍にセンサコイルを配置し、該センサコイルに一定周波数の交流電流を供給し、前記センサコイルの両端子から見た前記導電性膜を含めたインピーダンスを計測し、前記インピーダンスのうち抵抗成分の変化により前記導電性膜の膜厚を検出することを特徴とする研磨膜厚の検出方法。

【請求項 11】 前記導電性膜として、半導体基板上に配置されたバリア層の膜厚を検出することを特徴とする請求項 10 記載の研磨膜厚の検出方法。

【請求項 12】 基板を保持する保持具と研磨面を備え、基板の被研磨面を前記研磨面に摺接させて研磨するポリッシング装置において、

前記被研磨面の下方又は上方に前記基板上の被研磨面に形成された導電性膜の膜厚を計測する渦電流センサコイルを備え、前記センサコイルは該センサコイルと前記導電性膜により形成されるインピーダンスのうち、抵抗成分の変化から前記導電性膜の膜厚の変化を検出するものであることを特徴とするポリッシング装置。

# 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は渦電流センサに係り、特に半導体ウエハ等の基板の表面に銅 (Cu) 等の導電性膜を被着し、これを化学機械的研磨 (CMP) で研磨する際に、上記導電性膜に生じる渦電流損を検出することで、その研磨の進行状況を検出することができる渦電流センサ、及び該センサを用いた研磨膜厚の検出方法に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

半導体基板上に配線回路を形成するために、予め所定パターンの配線用の溝を形成しておき、基板をめっき液中に浸漬させて例えば銅（Cu）の無電解又は電解めっきを行ない、その後表面の不要部分を化学機械研磨（CMP）により除去する方法が提案されている。斯かるめっきによる成膜では、高アスペクト比の配線溝を均一に高導電率の金属で充填することが可能となる。前記CMPプロセスは、ターンテーブル上に貼設された研磨布にトップリングによって保持された半導体ウエハを押圧し、同時に砥粒を含有した研磨砥液を供給しつつ、半導体ウエハ上のCu層を研磨するものである。

## 【0003】

前記Cu層をCMPプロセスにより研磨する場合、配線用の溝内に形成されたCu層のみを残して半導体基板上からCu層を選択的に除去することが必要とされる。即ち、Cu層を配線用の溝部以外の箇処では、酸化膜（SiO<sub>2</sub>）が露出するまでCu層を除去することが求められる。この場合、過剰研磨となって、配線用の溝内のCu層を酸化膜（SiO<sub>2</sub>）とともに研磨してしまうと、回路抵抗が上昇し、半導体基板全体を廃棄しなければならず、多大な損害となる。逆に、研磨が不十分で、Cu層が酸化膜上に残ると、配線回路の分離がうまくいかず、短絡が起こり、その結果、再研磨が必要となり、製造コストが増大する。この事情は、Cu層に限らず、Al層等の他の導電性膜を形成し、この導電性膜をCMPプロセスで研磨する場合も同様である。

## 【0004】

そのため、CMPプロセスの終点を検出するために、渦電流センサを用いた研磨終点検出方法が提案されている。図15は、従来の渦電流センサを備えたポリッシング装置の主要部を示す図である。ポリッシング装置は、上面に研磨面を有する研磨布42を貼った回転するターンテーブル41と、回転および押圧可能に研磨対象基板である半導体ウエハ43を保持するトップリング45と、研磨布42に砥液Qを供給する砥液供給ノズル48を備えている。また、研磨布42の代わりに固定砥粒と呼ばれる、砥粒を有する樹脂で形成された研磨板をテーブルに貼る場合もある。トップリング45はトップリングシャフト49に連結されており、またトップリング45はその下面にポリウレタン等の弾性マット47を備え

ており、弾性マットに接触させて半導体ウエハ43を保持する。さらにトップリング45は、研磨中に半導体ウエハ43がトップリング45の下面から外れないようにするため、円筒状のリテーナリング46を外周縁部に備えている。ここで、リテーナリング46はトップリング45に対して固定されており、その下端面はトップリング45の保持面から突出するように形成され、半導体ウエハ43が保持面内に保持され、研磨中に研磨布42との摩擦力によってトップリング外へ飛び出さないようになっている。

#### 【0005】

またトップリング45内には、渦電流センサコイル50Aが埋め込まれており、この渦電流センサコイル50Aは配線51を介してトップリングシャフト49内を通して発振回路を構成する能動素子部50Bに接続され、更にフィルタ回路からなるインタフェースボード53、波形変換回路からなるディストリビューションボックス54を介してプロセサ55に送られる。ディストリビューションボックス54では、発振信号がTTLレベル(0-5V)に変換され、プロセサ55内の周波数カウンタにより発振周波数が計数される。計測された発振周波数は表示装置56にて表示される。

#### 【0006】

半導体ウエハ43をトップリング45の下面の弾性マット47の下部に保持し、ターンテーブル41上の研磨布42に半導体ウエハ43をトップリング45によって押圧するとともに、ターンテーブル41およびトップリング45を回転させて研磨布42と半導体ウエハ43を相対運動させて研磨する。このとき、砥液供給ノズル48から研磨布42上に砥液Qを供給する。砥液は、例えばCu(銅)を研磨する場合は酸化剤にアルミナやシリカといった微粒子からなる砥粒を懸濁したものを扱い、Cu表面を化学反応で酸化させながら、砥粒による機械的研磨作用との複合作用によって半導体ウエハを研磨する。

#### 【0007】

上述の研磨中に、前記渦電流センサ50A、50Bによって半導体ウエハ43の被研磨面に形成されたCu層等の導電性膜の膜厚の変化を検出しつづける。そして、渦電流センサ50A、50Bの信号をモニターし、配線用の溝内に形成さ



れたCu層等の導電体のみを残して、酸化膜( $\text{SiO}_2$ )上の導電性膜が除去されたときの周波数変化によりCMPプロセスの終点を検出する。

【0008】

渦電流センサは、上述したように研磨対象の基板に対面するように配置されるセンサコイル50Aと、そのセンサコイルに接続されキャパシタンスおよび能動素子とにより構成される発振回路(能動素子部)50Bとからなる。そして、能動素子部50Bに直流電源が供給されると、前記センサコイル50Aとキャパシタンスとがタンク回路を形成し、トランジスタ等の能動素子によりその発振周波数で発振する。ここで、センサコイル50Aが形成する磁束がそのセンサコイルの前面に配置された基板43上の導電性膜を貫通し、交番的に変化することで該導電性膜中に渦電流が生じる。そして、この渦電流が導電性膜中に流れることで渦電流損失が生じ、等価回路的にみるとセンサコイルのインピーダンスのリアクタンス成分を低下させることになる。

【0009】

従って、この渦電流損がゼロの時には発振回路の発振周波数はタンク回路の発振周波数となるが、渦電流損が存在すると半導体ウエハの等価抵抗分の影響により発振回路の抵抗分が大きくなり、これにより発振周波数が高くなる方向に移動する。従って、発振回路の発振周波数の変化を観察することで、研磨の進行に伴い導電性膜が徐々に薄くなると、これにより発振周波数が低下し、導電性膜が研磨により完全になくなるとタンク回路の自己発振周波数となり、それ以降は発振周波数が略一定となる。それ故、この点を検出することにより導電性膜の化学機械的研磨による終点を検出することができる。

【0010】

係る渦電流センサを利用した化学機械的研磨の終点検出によれば、研磨対象の基板に対して非接触で、且つ研磨の進行中に導電性膜の研磨の進行状況を把握することができる。

【0011】

この装置の場合には、センサコイル50Aが研磨対象の基板を保持するトップリング中に配設され、一方で発振回路の能動素子部50Bはセンサコイルから離

れたトップリングシャフトを保持する固定部に配置されていて、その間が通信線 51 で接続されている。発振回路で形成される発振信号はインターフェースボックス 53 およびディストリビューションボックス 54 等を経てパーソナルコンピュータに導入され、ここで発振周波数の推移がコンピュータのモニタ画面に表示されるようになっている。通信線 52 は一対（2 本）の信号線と、一対（2 本）の直流電源線の合計 4 本の電線により構成されている。また、通信線 51 はロータリコネクタを用いて固定側の能動素子部 50B を回転するトップリング内に収容されたセンサコイル 50A に接続している。従って、導電性膜の研磨の進行と共に渦電流損が減少し、これにより発振周波数が推移する様子をパーソナルコンピュータ 55 のモニタ 56 の画面上で観察することができる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、係る従来の渦電流センサによる研磨終点の検出方法においては、以下に述べる問題がある。即ち、センサコイル部分 50A と能動素子部分 50B とが別々の位置に配置され、その間が高インピーダンスの通信線 51 でロータリコネクタを介して接続されているため、通信線 51 がターンテーブルの回転等に伴うノイズを拾い、発振回路の出力信号処理においてこの除去が難しい。このため、十分なノイズに対する減衰量を有するフィルタ回路等を設ける必要がある。また、通信線 52 においてもノイズを拾う。

【0013】

さらに、渦電流センサに使用する発振周波数が 7MHz 程度であり比較的低いため、研磨対象の導電性膜が十分に厚い場合には、大きな渦電流損を検出することができるが、導電性膜の研磨が進行し膜厚が極めて薄くなると、渦電流損の大きさが小さくなり、この場合には例えば 1000Å 以下程度の膜厚の検出が困難となる。即ち、従来の渦電流センサは発振周波数が比較的低いため、Å オーダの膜厚検出精度が要求されるポリッシング装置の研磨終点の検出には、その精度が十分ではなかった。

【0014】

本発明は上述した事情に鑑みて為されたもので、安定な動作を可能とすると共

に精度の高い研磨終点の検出ができる渦電流センサを提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】

上述の目的を達成するため、本発明の第1の態様は、導電性膜に生じる渦電流損の変化から前記導電性膜の膜厚を検出する渦電流センサにおいて、前記導電性膜に渦電流を生じさせるセンサコイルと、該コイルに接続され前記渦電流損に対応して可変周波数を発振する能動素子部とが一体的に構成されたことを特徴とするものである。ここで、前記センサコイルは、空芯渦巻状であることが好ましく、また前記能動素子部を搭載した基板は、前記空芯渦巻状のセンサコイルに対して直交するように配置されていることが好ましい。また、センサコイルと能動素子部が一体的に構成された発振回路には、低インピーダンスの同軸ケーブルが接続され、これにより電源供給線と発振信号出力線とが兼用されていることが好ましい。

【0016】

本発明によれば、渦電流センサを構成するセンサコイルと、そのコイルに接続された能動素子部とが一体的に構成されて発振回路を形成するので、且つ、信号通信線は低インピーダンス（ $50\Omega$ ）で信号電送が可能になりポリッシング装置のターンテーブル等の回転に伴うノイズを拾うことなく安定に動作させることができる。また、能動素子を搭載した基板を該センサコイルと直交する方向に配置することで、VHF帯の高い発振周波数を用いて渦電流損失の検出が可能となる。これにより、高比抵抗の薄い膜厚の導電性膜における渦電流損の検出が可能となり、バリア層を構成するタンタル（Ta）等のÅオーダーの薄膜の研磨状態を検出することができる。それ故、格段に精度の高い研磨終点の検出が行える。

【0017】

本発明の第2の態様は、導電性膜に生じる渦電流損の変化から前記導電性膜の膜厚を検出する渦電流センサにおいて、前記導電性膜に渦電流を生じさせるセンサコイルを備え、該センサコイルと前記導電性膜により形成されるインピーダンスのうち、抵抗成分の変化から前記導電性膜の膜厚の変化を検出することを特徴

とするものである。これにより、発振周波数は固定したままで、抵抗成分の変化を見ることにより、研磨の進行による膜厚の変化を検出するものである。比較的低い周波数でこの極めて薄い膜厚の研磨状態を明瞭に観察することが可能となる。従って、極めて薄くかつ導電率が低いバリア層の膜厚検出が容易に可能となる。

#### 【0018】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図1乃至図14を参照して本発明の実施形態について説明する。

#### 【0019】

図1は、本発明の実施形態の渦電流センサの構造の概略を示す。この渦電流センサ10は、導電性膜に渦電流を生じさせるセンサコイル11と、そのコイルに接続され渦電流損に対応して可変周波数を発振する発振回路を構成する能動素子部12とが一体的に構成されている。そして、センサコイル11と能動素子部を搭載した基板12とが箱体13に収納されている。箱体の寸法としては、例えば縦横の寸法がそれぞれ20mm以下、高さが10mm以下程度となっている。能動素子部12にはインピーダンス50Ω程度の同軸ケーブル15が接続され、これにより渦電流センサに直流電源が供給されるとともに、該ケーブル15は発振信号を出力する出力線の役割を果たしている。

#### 【0020】

ここで、センサコイル11は空芯渦巻状であり、この実施形態においては2ターン程度のものが採用されている。発振回路を構成する能動素子部を搭載した基板12は、空芯渦巻状のセンサコイル11に対して直交するように配置されている。これにより、センサコイルが能動素子部を搭載した基板上の導電性材料に渦電流を生じさせない。即ち、仮にセンサコイル11を能動素子部を搭載した基板に平行に配置すると、センサコイルから生じる磁束が回路基板上の導電材料中に渦電流を生じさせ、渦電流センサとしてはこの渦電流損を検出することとなり精度が劣化する。また、能動素子部を搭載した基板においてもその基板上の導電性材料中に渦電流が生じることはその動作上好ましいことではない。このようにして、センサコイル11と、能動素子部を搭載した基板12とを直交して配置する

ことで、後述するように例えば200MHz程度の高い発振周波数で精度良く渦電流損失を計測することが可能となる。

#### 【0021】

能動素子部12には、例えばコルピッツ型の発振回路が採用され、センサコイル11のインダクタンスと基板12に搭載されたコンデンサのキャパシタンスによりタンク回路が形成され、このタンク回路の発振周波数により発振周波数が決定されることは上述したとおりである。ここで、渦電流損に対応してセンサコイルの等価的なインピーダンスのリアクタンス成分が変化し、これにより発振周波数が移動する点も上述したとおりである。

#### 【0022】

本発明の実施形態においては、センサコイル11のインダクタンス値と能動素子基板12に搭載されたコンデンサのキャパシタンス値とを選択することにより、約200MHz程度のVHF帯の発振周波数となるように設定している。この発振周波数を選択することにより、渦電流損を発生する導電性膜比抵抗に対応した検出感度を得られる。即ち、化学機械的研磨の対象となる導電性膜としては、一般にタンタル(Ta)膜のバリア層が形成され、その上に銅(Cu)のメッキ層が形成されている。ここで、タンタル(Ta)膜の比抵抗は $160\Omega\text{m}$ 程度であり、銅(Cu)の比抵抗は $1.6\Omega\text{m}$ 程度であり、約100倍の差がある。ここで、導電性膜が銅(Cu)である場合には、発振周波数は図2(a)に示すように約20MHz程度で良好な検出精度を得られる。即ち、銅(Cu)の膜厚が十分に大きい場合には、発振周波数は20.7MHz程度が得られ、銅(Cu)の膜が殆ど除去された状態では発振周波数は20.0MHz程度となる。このため、膜厚が十分にある場合とない場合との差が0.7MHz程度の十分な検出幅が得られる。これに対して、バリア層として用いられるタンタル(Ta)膜の場合には、タンタル(Ta)膜の膜厚が十分に厚い場合には187MHz程度の発振周波数が得られ、タンタル(Ta)膜の膜厚がほぼ0となった場合には発振周波数は184MHz程度となる。この場合にも上述と同様に3MHz程度の十分な検出幅が得られる。

#### 【0023】

ここで、バリア層となるタンタル (Ta) 膜の膜厚はÅオーダーであり、銅 (Cu) の膜厚は $\mu\text{m}$ オーダーである。従って、図1に示す渦電流センサによれば、バリア層を形成する極めて薄いタンタル (Ta) 膜に対してその研磨の進行状況を検出することが可能となる。即ち、発振周波数を7MHzとした銅膜の検出においては、研磨の終点が例えば1000Å程度の誤差が生じるが、極めて薄い膜厚のタンタル (Ta) 層の研磨の終点を発振周波数を約180MHzとして検出することで、Åオーダーのバリア層の研磨終点の検出が可能となる。これにより、研磨終点の検出精度を格段に向上させることができる。

## 【0024】

図3は、渦電流センサによる渦電流損の検出回路を示す。渦電流センサは、上述したようにセンサコイル11と、このセンサコイルとタンク回路を形成するコンデンサ16、17と、トランジスタ等からなる能動回路素子18とにより構成されている。キャパシタンスは、固定キャパシタ16と可変キャパシタ17とからなり、この可変キャパシタ17により後述するように自動周波数調整回路を構成している。渦電流センサ10には同軸ケーブル15を介して分周器または減算器61および波形変換を行うディストリビューションボード54が接続されている。ここで同軸ケーブル15は上述したように電源の供給線と信号線とを兼ねていて、渦電流センサ10の発振信号は、結合コンデンサを介して発振信号検出回路に接続され、インタフェースボード53側から直流電源が供給される。ここで、分周回路は検出した発振周波数を遅降するものであるが、減算器によれば変化分に対する固定分の多くの部分を減算して除くことにより、分解能を高めることができる。

## 【0025】

プロセサ55内の発振信号検出部は、研磨の進行に伴う渦電流損の変化から研磨の進行状況を検出するものであり、以下に述べる大略2つの方式がある。第1の方式としては、発振信号の発振周波数の変化を検出する方式である。図2に示すように、導電性膜の研磨が進行すると、これに伴い渦電流損が変化し、センサコイルの等価的な抵抗値が変化する。従って、発振回路の発振周波数が変化するので、この発振信号を分周回路により分周し、または減算器により減算すること

により、検出幅の周波数の大きさに対応した信号をモニタに表示する。これにより、上述した図2に示すような周波数軌跡の推移グラフが得られる。

#### 【0026】

膜厚が十分に厚い場合には研磨の進行（時間 $t$ の経過）に伴う渦電流損の変化は少なく、従って発振周波数の変化も少ない。研磨が進行し、導電性膜の残膜の厚さが薄くなると、渦電流損は急激に減少する。このため、周波数も急激に下降する。そして、導電性膜の残膜が完全になくなると、下地の酸化膜の研磨は進行するとしても、導電性膜自体が存在しなくなるので発振周波数は略一定となる。従って、発振周波数が急激に下降してそれから略一定に変化する点が研磨の終点となる。渦電流センサの出力を移動平均処理した後に微分処理を行い、この微分処理結果を観察することにより研磨の終点を精度良く検出することが可能となる。

#### 【0027】

そして、発振信号検出部で検出された発振周波数を制御回路に伝達し、可変コンデンサ（バリキャップ）17のキャパシタンス値を変更することにより、自動周波数調整（Automatic Frequency Tuning）により発振周波数のずれの自動補正を行うことができる。これによりセンサの自己発振周波数の変動を抑え、センサの個体差をなくすことにより渦電流センサからの出力信号周波数の感度の安定化を行え、且つ渦電流センサ自体の製作精度によるバラツキをなくすることができる。自動振幅制御（A L C）方式を用いて、発振回路の発振振幅の安定化を行ない、振幅を一定にするためには、図4に示すように、発振信号検出回路内に高周波振幅検出器24を設け、検出された信号の大きさを比較器25にて基準振幅信号と比較し、これにより減衰器26を操作することで振幅を一定に制御することができる。このような回路を導入することで、渦電流センサの高周波信号からT T Lレベル信号変換時の動作安定とS / N比を安定にすることができる。

#### 【0028】

渦電流センサの発振周波数信号を周波数の時間勾配変化としてとらえ、即ち発振周波数の時間微分信号を演算し、この特徴点により研磨終点の判定が行える。図5（a）は発振周波数自体の時間 $t$ の推移軌跡を示し、図5（b）はこの微分

値の推移軌跡を示す。ここでAはメタル層クリアを示し、Bはバリアー層目クリアを示し、Cはバリア二層目のクリアを示す。この様に発振周波数自体の変化は僅かでも、この微分値を観察することで、Aオーダのバリア層の研磨終点の検出が容易に可能となる。

## 【0029】

第2の渦電流損の検出方式としては、センサコイル11の渦電流損の等価インピーダンスの抵抗成分をLCRメータにより直接測定する。図3における信号検出回路としてLCRメータを用いることにより、図6に示すようにモニタ画面には、横軸に抵抗R、縦軸にリアクタンスXが表示される。導電性膜の渦電流損が研磨の進行に伴い変化することにより、導電性膜の渦電流損の変化と共に抵抗値Rおよびリアクタンス値Xの軌跡が推移する様子を観察することができる。即ち、点Bは残膜量が多く、渦電流損失が大きい状態を示し、点Aは導電性膜が研磨の進行に伴いなくなり、渦電流損がなくなり、インピーダンスメータ側から見た固定抵抗分のみとなる状態である。図6に示すようにセンサのインピーダンス変化は、

$$\Delta R \gg \Delta X$$

であり、リアクタンス成分( $\Delta X$ )よりは抵抗成分( $\Delta R$ )がはるかに大きく変化することに注目している。なお、渦電流センサを使用してポリッシング装置の動作をさせている時に、予め定めた範囲から測定結果が逸脱した場合には、センサ故障と判断し、エラー信号を発生させる。そして、研磨を停止させることで異常時の影響を最小限に止めることができる。

## 【0030】

図7は、本発明の第2の態様の渦電流センサを示す。センサコイル101は第1の実施形態の渦電流センサと同様な空芯渦巻状のコイルであり、例えば、2ターン程度のものが採用されている。センサコイル101は研磨対象の導電性膜を備えた半導体ウエハWの近傍に配置される。センサコイル101に交流信号を供給する信号源は、水晶発振器からなる固定周波数の発振部102であり、例えば、8, 16, 32MHzの固定周波数の信号源である。センサコイル101の両端で検出される電圧は、発振部102の発振周波数を通過させるバンドパスフイ



ルタ103を通り、cos同期検波回路105及びsin同期検波回路106からなる同期検波部により検出信号のcos成分とsin成分とが取り出される。ここで、発振部102で形成される発振信号は、位相シフト回路104により信号源の同相成分(0°)と直交成分(90°)の2つの信号が形成され、それぞれcos同期検波回路105とsin同期検波回路106とに導入され、上述の同期検波が行われる。

## 【0031】

同期検波された信号は、ローパスフィルタ107、108により、信号成分以上の不要な高周波成分が除去され、cos同期検波出力である抵抗成分(R)出力と、sin同期検波出力であるリアクタンス成分(X)出力とがそれぞれ取り出される。また、ベクトル演算回路109により、R成分出力とX成分出力とから振幅出力( $\sqrt{R^2 + X^2}$ )が得られる。また、ベクトル演算回路110により、同様にR成分出力とX成分出力とから位相出力( $\tan^{-1} R/X$ )が得られる。

## 【0032】

図8は、上記渦電流センサを用いた導電性膜の膜厚の測定結果の一例を示す。横軸は抵抗成分(R)であり、縦軸はリアクタンス成分(X)であり、点Aは膜厚が例えば100 $\mu$ m以上と極めて大きい場合である。この場合には、センサコイルから見たインピーダンスは、センサコイルに近接して配置された導電性膜の渦電流損が極めて大きく、センサコイルから見た抵抗成分(R)が極めて小さくなる。研磨が進行し導電性膜が薄くなると、センサコイルから見た抵抗成分が増大し、リアクタンス成分も増大する。センサコイルから見た抵抗成分(R)が最大となる点をBで示す。さらに研磨が進行し、導電性膜がより薄くなると、センサコイルから見た抵抗成分は、渦電流損が徐々に減少することから、抵抗(R)成分は徐々に小さくなる。そして、導電性膜が全て研磨により除去されると、そこには渦電流損が存在せず、抵抗成分(R)はゼロとなり、センサコイル自体の抵抗のみが残ることになる。この時のリアクタンス成分(X)は、センサコイル自体のリアクタンス成分である。この状態を、点Cで示す。

## 【0033】

実際に、例えばシリコン酸化膜中に設けられた溝に銅配線を、いわゆるダマシンプロセスで形成する場合には、シリコン酸化膜上に窒化タンタル (Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>)、窒化チタン (TiN) 等のバリア層が設けられ、その上に導電率の高い銅又はタングステン等の金属配線が設けられる。従って、これらの導電性膜の研磨にあたっては、バリア層の研磨の終点検出が重要となる。ところが、バリア層は上述したように窒化タンタル (Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>) 又は窒化チタン (TiN) 等の導電率が比較的 low、かつ膜厚がÅオーダーの極めて薄い膜が採用されている。

#### 【0034】

本発明の第2の実施形態の渦電流センサにおいては、このようなバリア層の研磨終点近傍の膜厚検出が容易に可能となる。即ち、図8に示す、点Dは例えば膜厚が1000Å程度の位置を示し、これより膜厚がゼロとなる、点Cに向けて、膜厚の変化に対応して抵抗成分の変化が極めて大きく、かつ略直線的に変化する。この時に、リアクタンス成分 (X) は、図示するように抵抗成分と比較して、極めて変化量が小さい。このため、上述した第1の実施形態の渦電流センサは、リアクタンス分の変化に伴って生じる発振周波数の変化に基づいて膜厚を検出するという基本的な考え方に基づいているので、かかる原理に基づく渦電流センサでは、この膜厚変化に対して発振周波数の変化は極めて小さい。このため、周波数変化の分解能を上げるためには、上述したように周波数を高くする必要があった。しかしながら、この第2の実施形態の渦電流センサによれば、発振周波数は固定したままで、抵抗成分の変化を見ることにより膜厚の変化を検出するのである。比較的低い周波数でこの極めて薄い膜厚の研磨状態を明瞭に観察することが可能となる。

#### 【0035】

図9は、Åオーダーの微細な導電性層の膜厚の検出結果を示す。それぞれ横軸は残膜厚を示し、縦軸の実線は抵抗成分 (R) を示し、点線はリアクタンス成分 (X) を示している。図9 (a) は、タングステン (W) 膜に関するデータであり、1000Å以下の微細な残膜厚で抵抗成分の変化を見ることにより明瞭に膜厚の変化を検出できることがわかる。図9 (b) は、窒化チタン (TiN) 膜に関するデータであり、同様に1000Å以下の領域で膜厚の変化を明瞭に検出でき

る。図9(c)は、チタン(Ti)膜に関するデータであり、図示するように、膜厚が500~0Åに変化する間に、その抵抗成分が約100Ω強~約0Ωに変化することで、明瞭にその膜厚の変化を検出することができる。

## 【0036】

信号源の発振周波数は、導電率が比較的低いバリア層の検出では、発振周波数を例えば32MHz程度に高くすることが望ましい。発振周波数を高くすることにより、バリア層の0~250Åの膜厚の変化を明瞭に観察することができる。これに対して、例えば銅膜やタングステン膜等の導電率が比較的高い金属においては、低い発振周波数でも明瞭に膜厚の変化の検出が可能である。このように、研磨対象膜の種類に対応して、発振周波数を選択することが好ましい。

## 【0037】

図9に示す各例において、抵抗成分(R)の変化に対して、リアクタンス成分(X)の変化は極めて小さい。バリア層の膜厚検出例で、タンタル膜において、残膜厚が0Åと250Åでリアクタンス成分(X)の変化は、0.005%であった。これに対して抵抗成分(R)の変化は、1.8%であった。よって、検出感度の向上は従来のリアクタンス成分の変化を見る方式に対して、約360倍検出感度が向上することになる。

## 【0038】

上述した膜厚の検出例は、主として抵抗成分(R)の変化に着目したものである。しかしながら、図7に示す渦電流センサにおいては、研磨の進行に伴う振幅出力及び位相出力を取り出すことができる。従って、これらの信号出力を用いることで、例えば位相の大きさにより膜厚を計測するなど、より多面的な研磨の進行状況のチェックが可能となる。

## 【0039】

図10は、これらの渦電流センサを備えたポリッシング装置の全体構成を示す縦断面図である。図10に示されるように、ポリッシング装置は、ターンテーブル41と、半導体ウエハ43を保持しつつターンテーブル41の研磨布42に押圧するトップリング(保持具)45とを具備している。ターンテーブル41はモータ47に連結されており、矢印で示すようにその軸心回わりに回転可能になっ

ている。また、トップリング45は、モータ（図示せず）に連結されるとともに昇降シリンダ（図示せず）に連結されている。これによって、トップリング45は、矢印で示すように昇降可能かつその軸心回わりに回転可能になっており、半導体ウエハ43を研磨布42に対して任意の圧力で押圧することができるようになっている。トップリング45はトップリングシャフト52に連結されており、またトップリング45はその下面にポリウレタン等の弾性マット47を備えている。またトップリング45の下部外周部には、半導体ウエハ43の外れ止めを行うガイドリング46が設けられている。また、ターンテーブル41の上方には研磨砥液ノズル48が設置されており、研磨砥液ノズル48によってターンテーブル41に貼設された研磨布42上に研磨砥液Qが供給されるようになっている。

## 【0040】

図10に示すように、ターンテーブル41内には渦電流センサ11、101が埋め込まれている。渦電流センサ11、101の接続ケーブル15は、ターンテーブル41およびターンテーブル支持軸41a内を通り、ターンテーブル支持軸41aの軸端に設けられたロータリコネクタ（又はスリップリング）19を経由してコントローラ55に接続されている。コントローラ55は表示装置（ディスプレイ）56に接続されている。

## 【0041】

図11は、図10に示すポリッシング装置の平面図である。図示するように、渦電流センサ10a～10f（11、101）は、トップリング45に保持された研磨中の半導体ウエハ43の中心Cwを通過する位置に、この場合は6ヶ所に設置されている。符号C<sub>T</sub>はターンテーブル41の回転中心である。渦電流センサ10a～10fは、半導体ウエハ43の下方を通過している間、通過軌跡上で連続的に半導体ウエハ43のCu層およびバリア層等の導電性膜の膜厚を検出できるようになっている。ここで、渦電流センサの周波数を高低の複数種類用いるようにしてもよい。これにより、高い方でバリア層の膜厚変化を主として検出し、低い方で導電層の膜厚変化を主として検出する等の管理を行うことができる。

## 【0042】

この場合は、渦電流センサを6ヶ所に配置しているが、配置数は適宜変更する

ことができる。また、ターンテーブルに研磨布を配置した例について説明したが、固定砥粒プレートを用いるようにしてもよい。また、この場合には固定砥粒プレート内に渦電流センサを配置するようにしてもよい。なお、ターンテーブルは1テーブルでなく複数テーブルタイプにも対応可能である。また、ターンテーブルは研磨面を有するベルトやウェブ（Web）に代用できる。

#### 【0043】

上記構成のポリッシング装置において、トップリング45の下面に半導体ウエハ43を保持させ、半導体ウエハ43を回転しているターンテーブル41の上面の研磨布42に昇降シリンダにより押圧する。一方、研磨砥液ノズル48から研磨砥液Qを流すことより、研磨布42に研磨砥液Qが保持されており、半導体ウエハ43の被研磨面（下面）と研磨布42の間に研磨砥液Qが存在した状態でポリッシングが行われる。

#### 【0044】

この研磨中に、渦電流センサ10a～10fは、ターンテーブル41が一回転する毎にそれぞれ半導体ウエハ43の被研磨面の直下を通過する。この場合、渦電流センサ10a～10fは半導体ウエハ43の中心Cwを通る軌道上に設置されているため、センサの移動に伴って半導体ウエハ43の被研磨面の円弧状の軌道上で連続的に膜厚検出が可能である。そして、この場合には、渦電流センサが6ヶ所に設けられているので、断続的にはあるが短い間隔で研磨の進行状況をいずれかのセンサで検出できる。

#### 【0045】

図15に示す従来の渦電流センサを用いた終点検出方法では、該渦電流センサをトップリング内に設けていたため、半導体ウエハ上に形成されたCu層等の導電性膜の膜厚は渦電流センサの直下しか計測できないという欠点があった。この場合、トップリング側に埋め込むセンサの数を増やせば、膜厚の計測箇所は増加するが、それでも、互いに離間した複数点（又は多数点）の断続的な計測値が得られるにすぎず、連続したプロファイルとしての計測値を得ることができないという問題点があった。またセンサ数の増加に伴って、装置コストが増加するとともに信号処理が複雑になるという問題点があった。ターンテーブルに渦電流セン

サを配置した本方式では、研磨中に、渦電流センサは、ターンテーブルが一回転する間に半導体基板の被研磨面の直下を通過する。この場合、渦電流センサは半導体基板の中心を通る軌道上に設置されているため、センサの移動に伴って半導体基板の被研磨面の円弧状の軌道上で連続的に膜厚検出が可能である。

## 【0046】

図12(a)(b)に示すように、研磨が進行するにつれて、渦電流センサ10a~10fの信号をコントローラ12で処理した値は漸次減少してゆく。即ち、導電性膜の膜厚が減少するにつれて、渦電流センサ10a~10fの信号をコントローラ12で処理した値である検出値が減少してゆく。したがって、予め、導電性膜が配線部を除いて除去されたときの検出値の値を調べておけば、検出出力の値をモニターすることにより、CMPプロセスの終点を検出できる。

## 【0047】

図13は、膜厚と発振周波数との関係を較正した例を示す。例えば、1000Å( $t_1$ )または200Å( $t_2$ )等の基準ウエハを準備し、この基準ウエハにおける発振周波数 $f_1$ 、 $f_0$ 等の周波数を測定し、これらの点を基準点とする。そして、実際の研磨の進行状況に伴う周波数に対する膜厚変化のデータを取得し、これを点線で示す。この手法は、抵抗成分出力の検出にも同様に適用が可能である。このデータを上記基準点に対して最小二乗法等の手法によりカーブを形成する。このような手法により、渦電流センサの特性を較正しておくことで、検出出力の変化から直接膜厚の変化を読みとることが可能となる。

このような渦電流センサを多数備えたポリッシング装置によれば、終点検出を半導体ウエハの全面について行うことができ、且つ短時間間隔で行うことができる。そして、上述したようにバリア層であるTa、Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>、TiN層等の研磨終点を検出できるので、極めて高精度の研磨終点の検出を行える。

## 【0048】

また、導電性膜が配線部を除いて除去されることを渦電流センサと光学式センサの両者からの信号を処理し、モニターすることにより検出し、CMPプロセスの終点を決定するようにしてもよい。図14は、このようなポリッシング装置の構成例を示す。ベルト状研磨パッド71がローラ72、73により回転駆動され

、トップリング（保持具）75に保持された研磨対象物（半導体ウエハ）が回転しつつ研磨パッド71に押圧される。研磨対象物の被研磨面は研磨パッド（研磨面）に摺接され、これにより研磨が進行する。トップリングの直下には、上記渦電流センサと光学式センサを備えた支持体76が配置され、被研磨面の表面状態をモニタする。ここで、穴77（図14（a）参照）及び切欠き78（図14（b）参照）は、光学式センサが研磨面の表面状態を観察するためのものである。

【0049】

本実施の形態においては、導電性膜としてCuおよびTa層について説明したが、Cr、W、Ti等の他の金属であってもよい。また、①渦電流センサ信号、②ターンテーブルモータもしくはトップリングモータの電流信号、③テーブル内もしくはテーブル外に設けた光学的手段研磨面への入射および反射の光学信号、④研磨面の温度信号を単独または適切なる組合せにより使用することにより、研磨終点の検出性能を向上させることもできる。

【0050】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、ポリッシング装置における研磨終点の検出を安定に、且つ高精度で行える。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の渦電流センサの概略構成を示す透視斜視図である。

【図2】

研磨の進行に伴う発振周波数の変化を示すグラフである。

【図3】

渦電流センサの発振信号の検出回路を示す図である。

【図4】

図3における振幅調整回路を示す図である。

【図5】

（a）は発振周波数の推移軌跡を示す図であり、（b）は発振周波数の時間微分値の推移軌跡を示す図である。

【図 6】

LCRメータによる等価インピーダンスの推移軌跡を示す図である。

【図 7】

本発明の第 2 の実施形態の渦電流センサの構成を示すブロック図である。

【図 8】

図 7 に示す渦電流センサによる膜厚の変化に伴う抵抗成分 (R) ・リアクタンス成分 (X) の推移軌跡を示す図である。

【図 9】

膜厚の変化による抵抗成分 (R) 及びリアクタンス成分 (X) の変化例を示す図である。

【図 1 0】

本発明のポリッシング装置の全体構成を示す縦断面図である。

【図 1 1】

図 1 0 に示すポリッシング装置のターンテーブルの平面図である。

【図 1 2】

図 1 0 に示す装置における発振信号の検出例を示す図である。

【図 1 3】

渦電流センサの発振周波数と膜厚の較正例を示す図である。

【図 1 4】

本発明の他のポリッシング装置の構成例を示す斜視図である。

【図 1 5】

従来のポリッシング装置の主要部を示す図である。

【符号の説明】

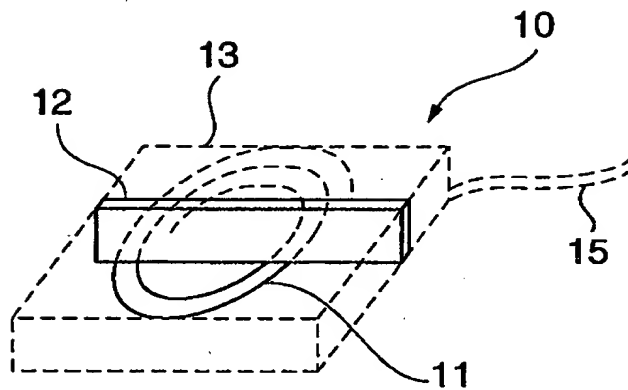
- 1 0 ( 1 0 a ~ 1 0 f )    渦電流センサ
- 1 1        センサコイル
- 1 2        能動素子部 ( 基板 )
- 1 3        箱体
- 1 5        同軸ケーブル
- 2 0        直流電源



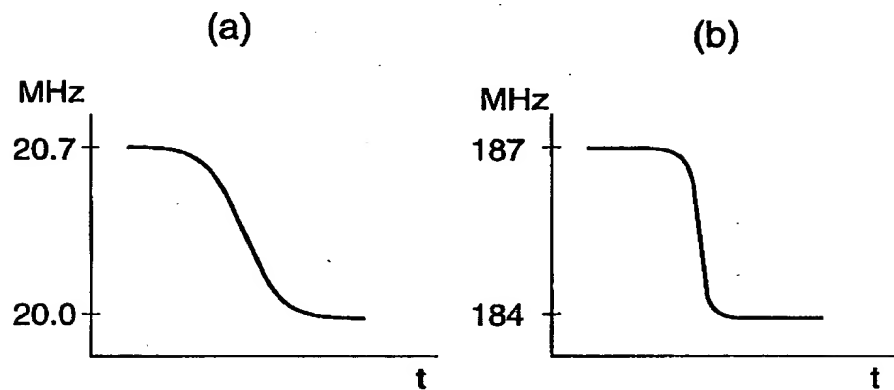
- 2 1 発振信号検出回路
- 4 1 ターンテーブル
- 4 2 研磨布
- 4 3 半導体ウエハ
- 4 5 トップリング（保持具）
- 4 8 砥液供給ノズル
- 4 9 トップリングシャフト
- 5 0 A, 5 0 B 渦電流センサ
- 5 1 配線

【書類名】 図面

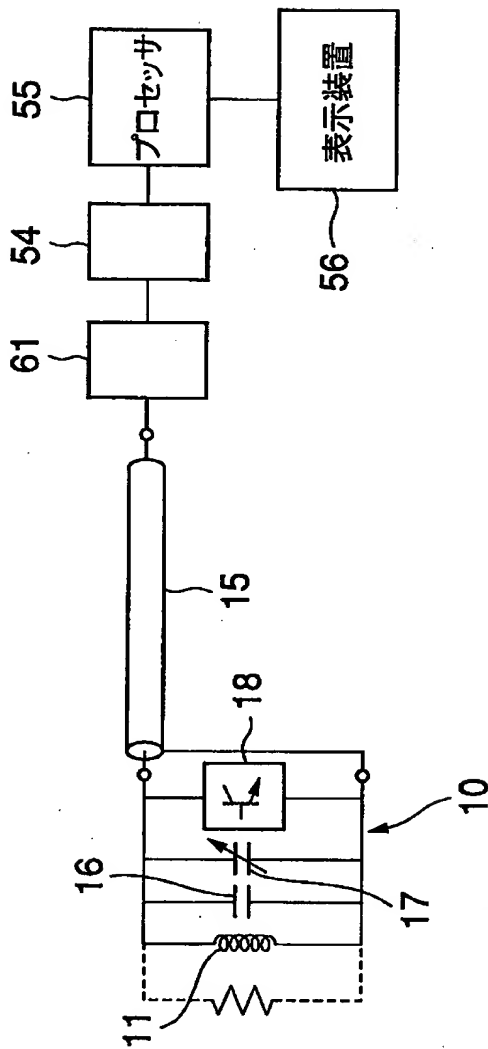
【図 1】



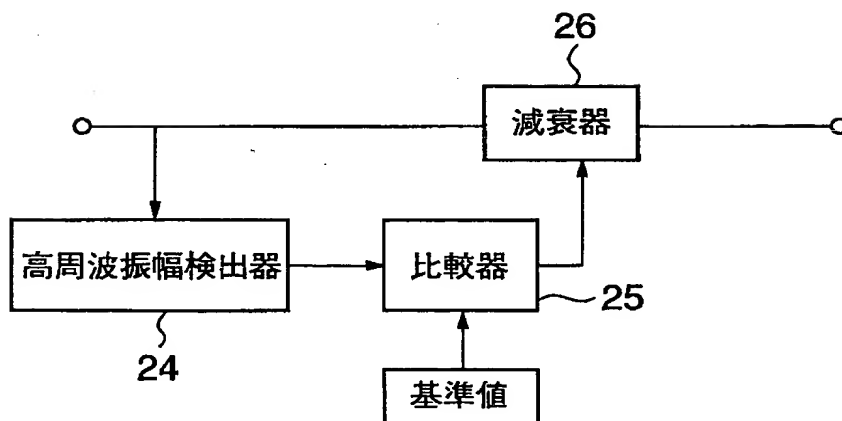
【図 2】



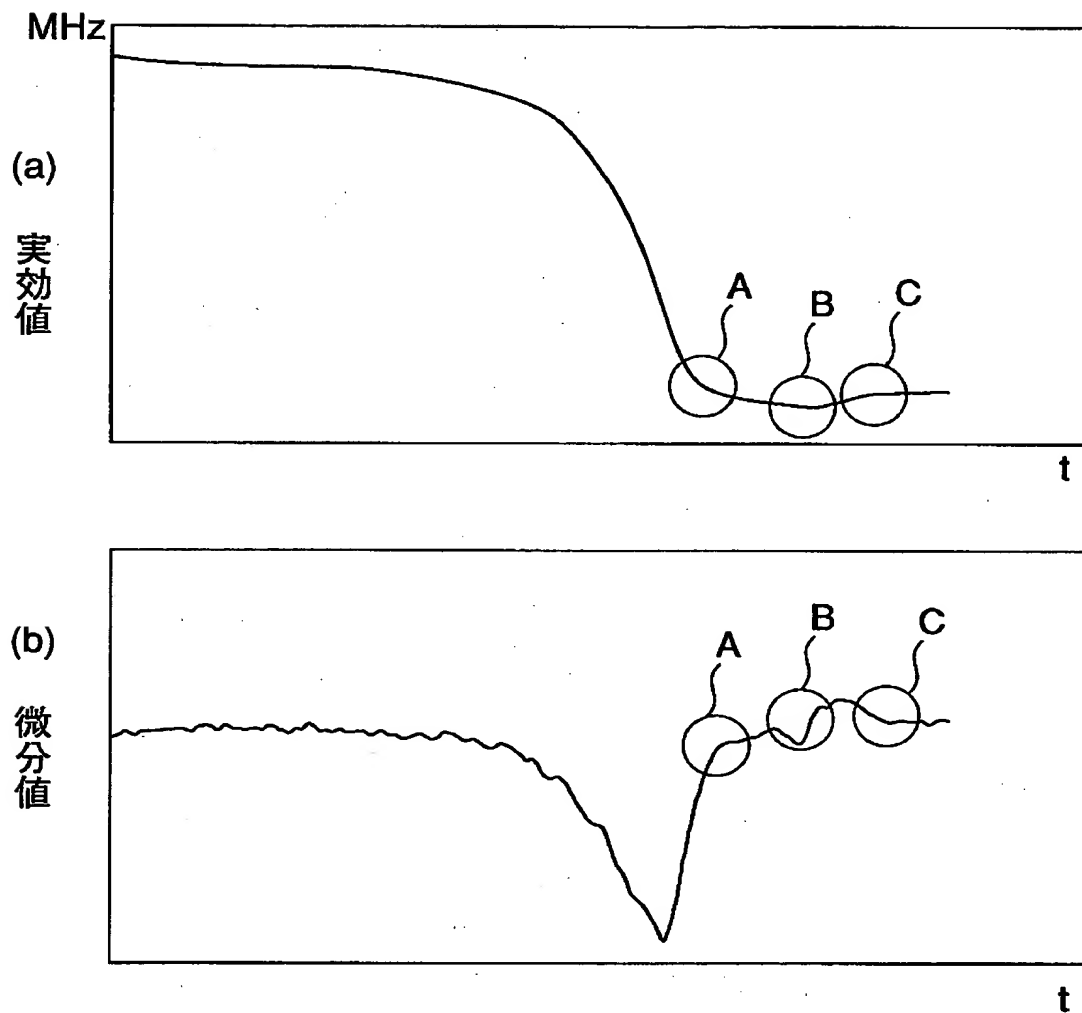
【図 3】



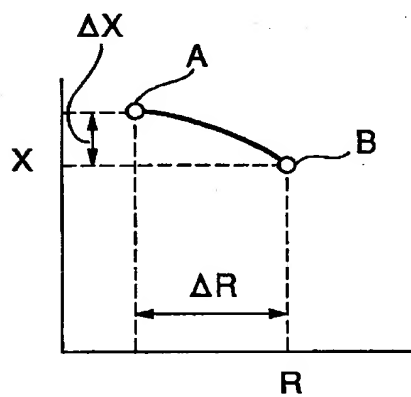
【図 4】



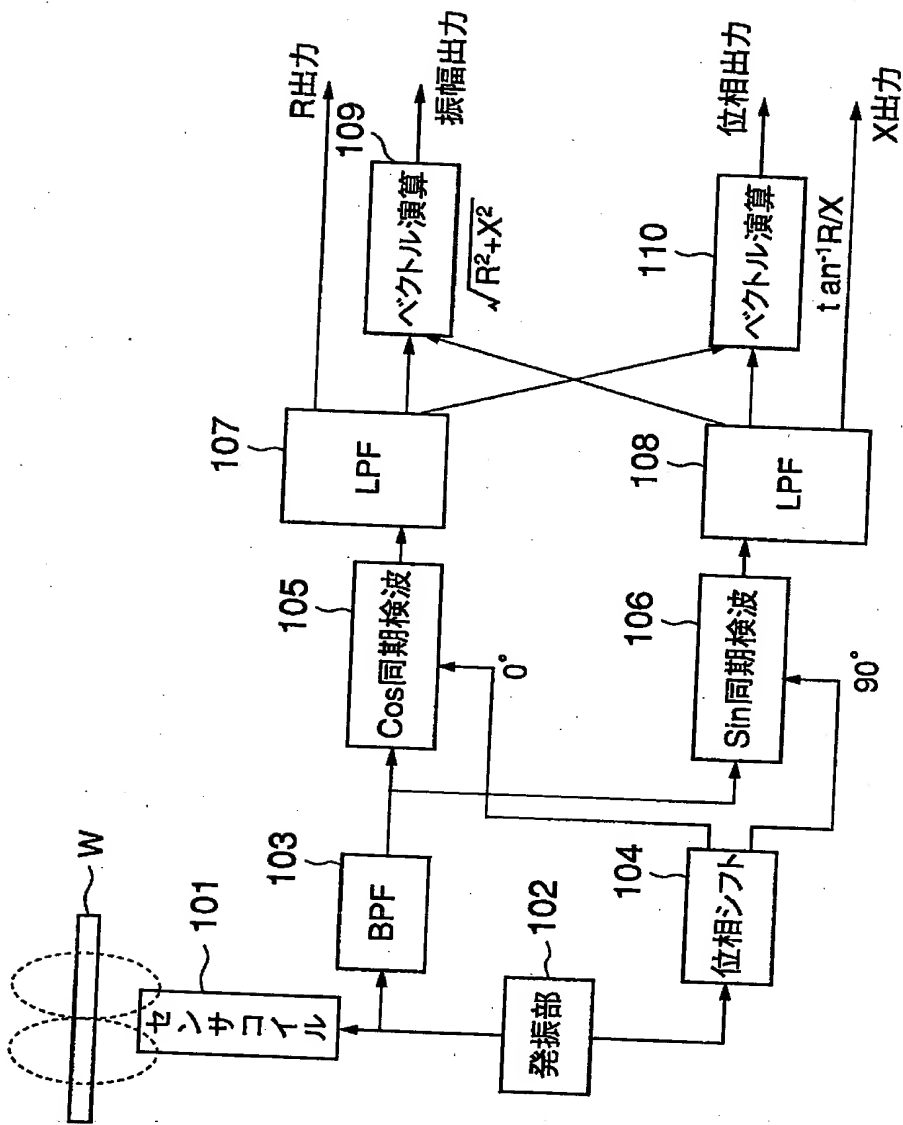
【図 5】



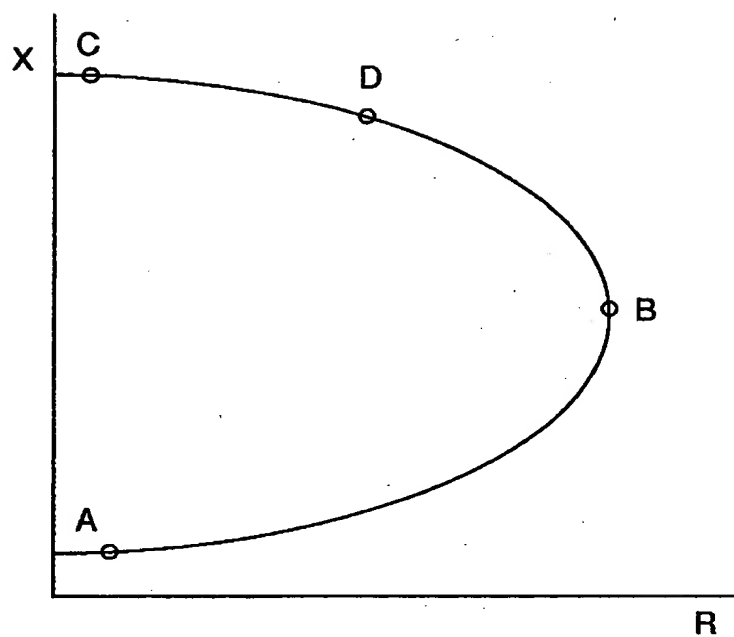
【図 6】



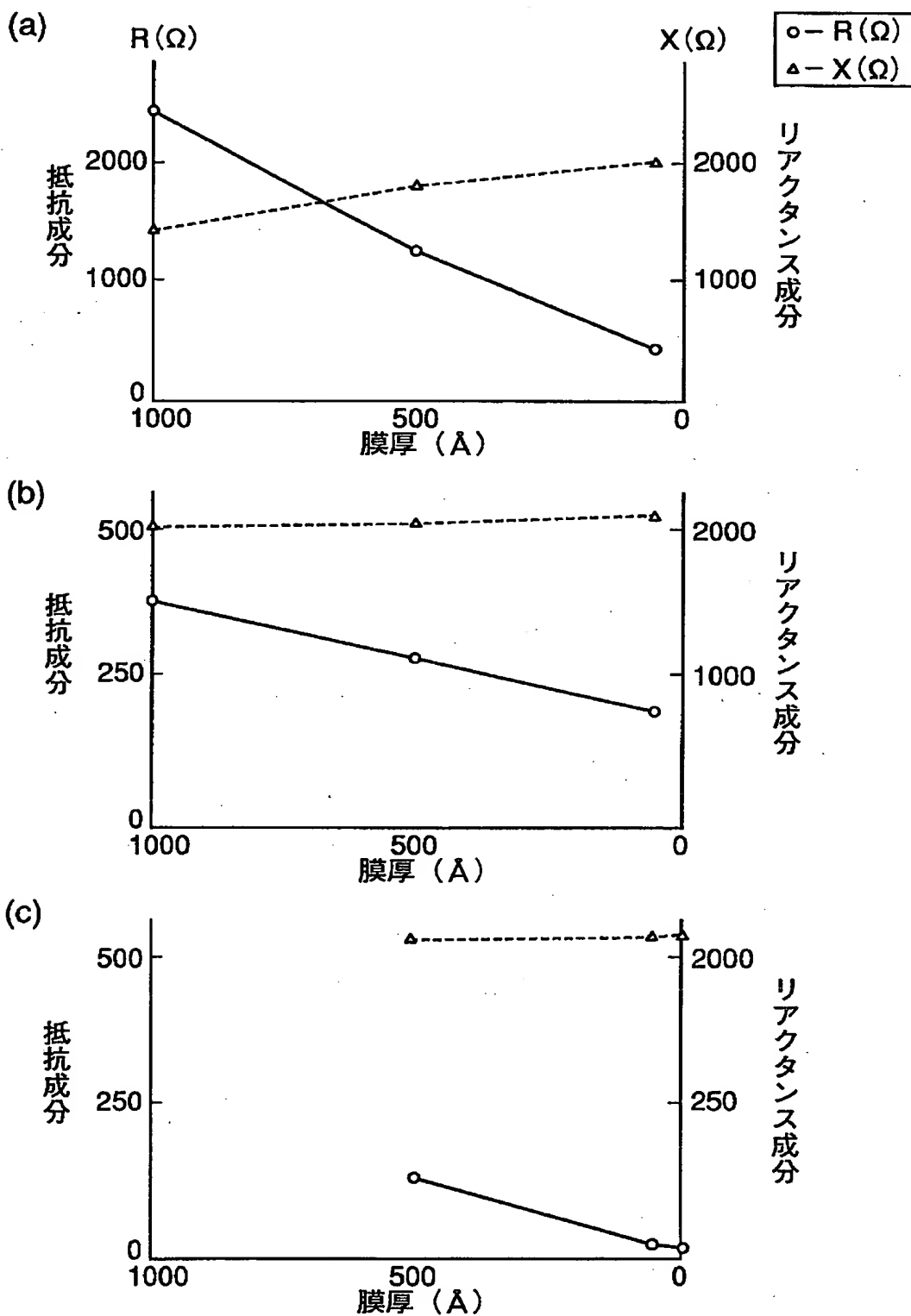
【図7】



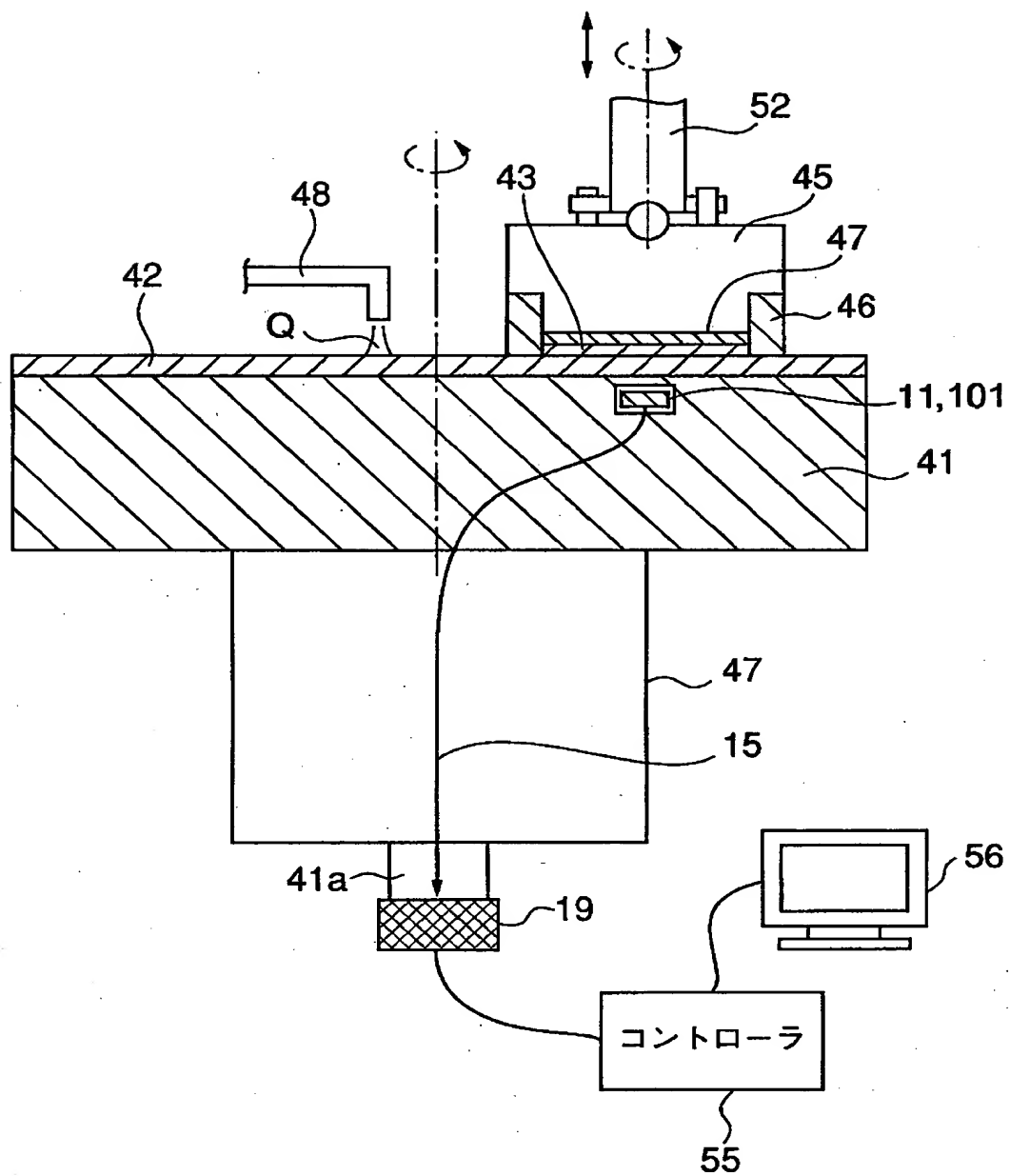
【図 8】



【図9】

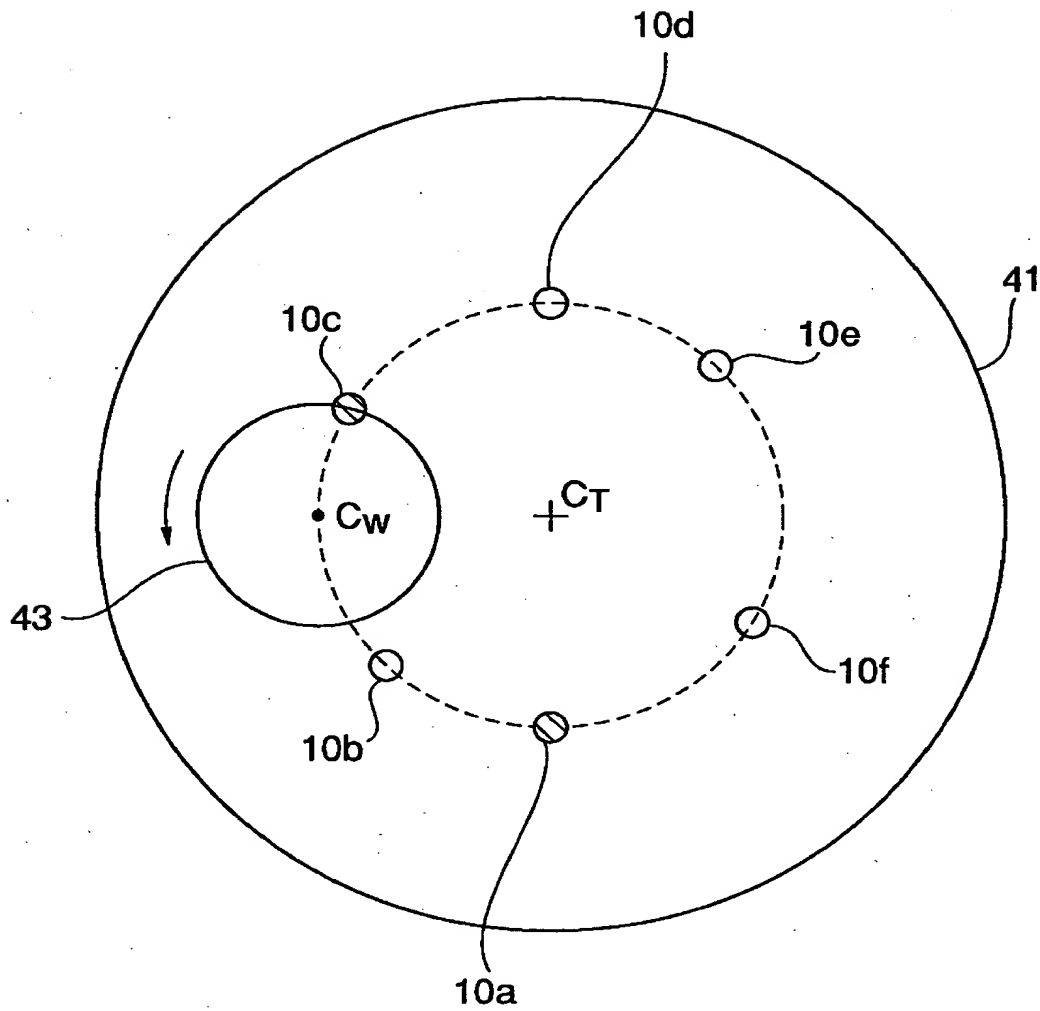


【図10】

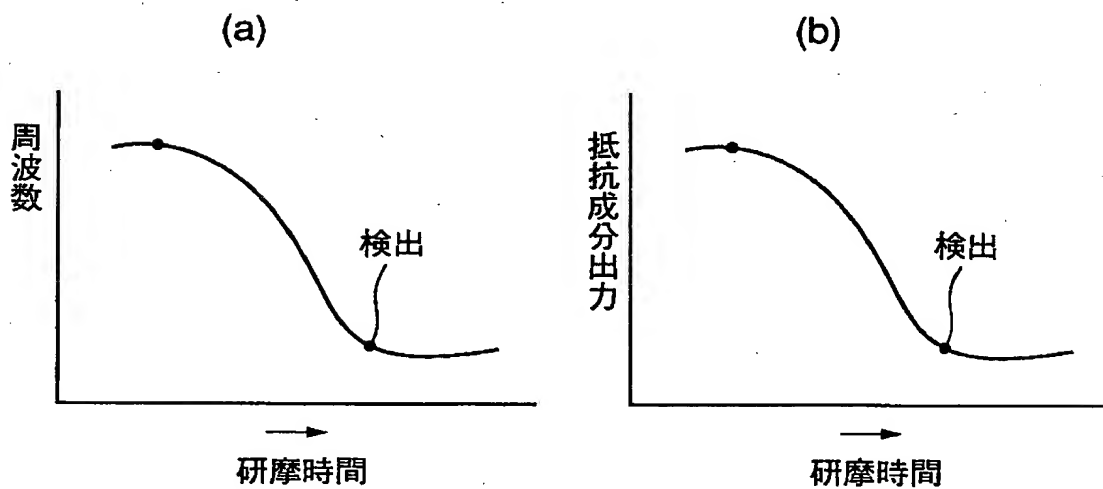




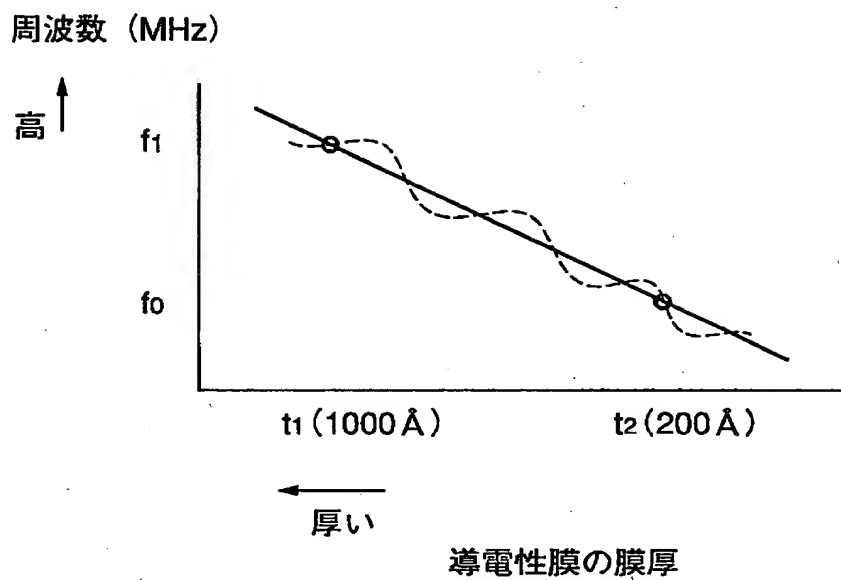
【図 1 1】



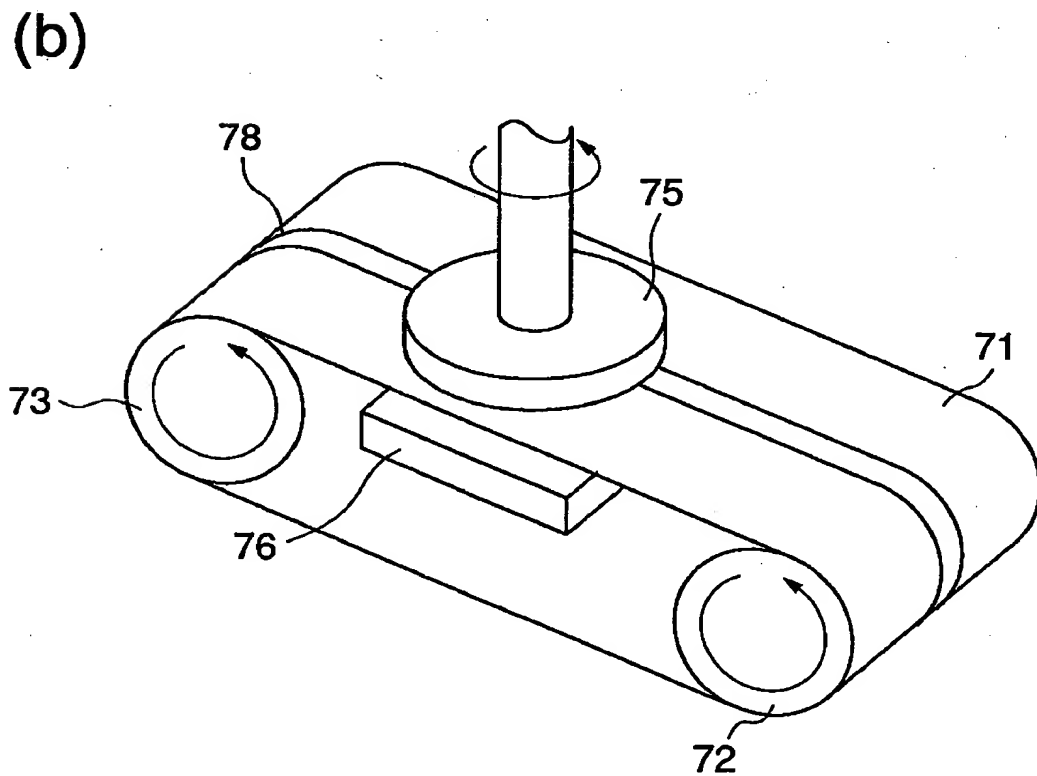
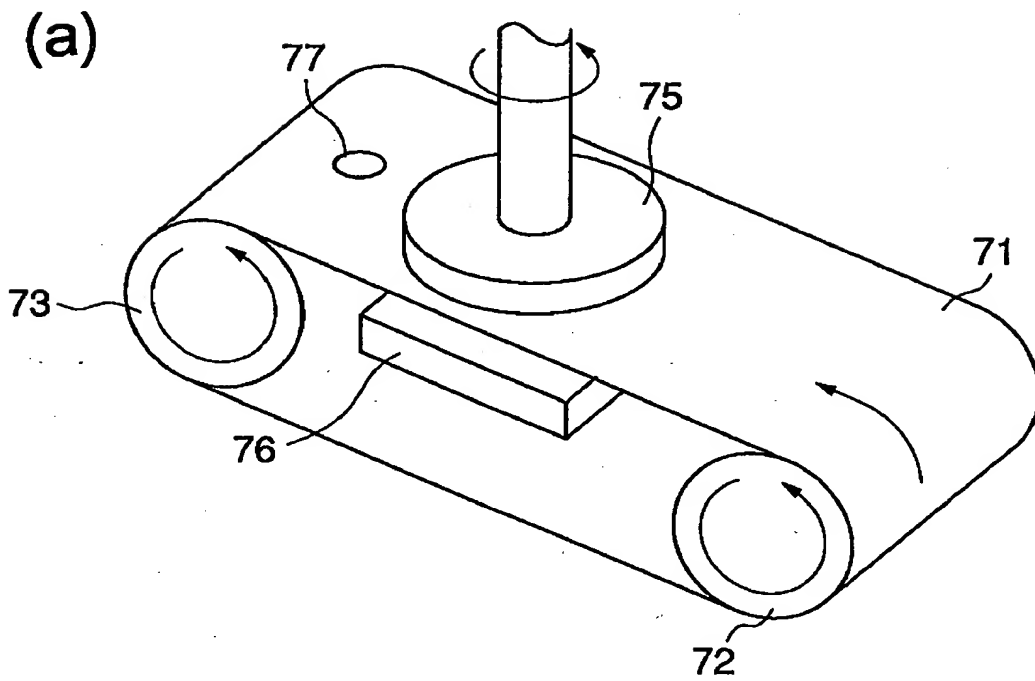
【図 1 2】



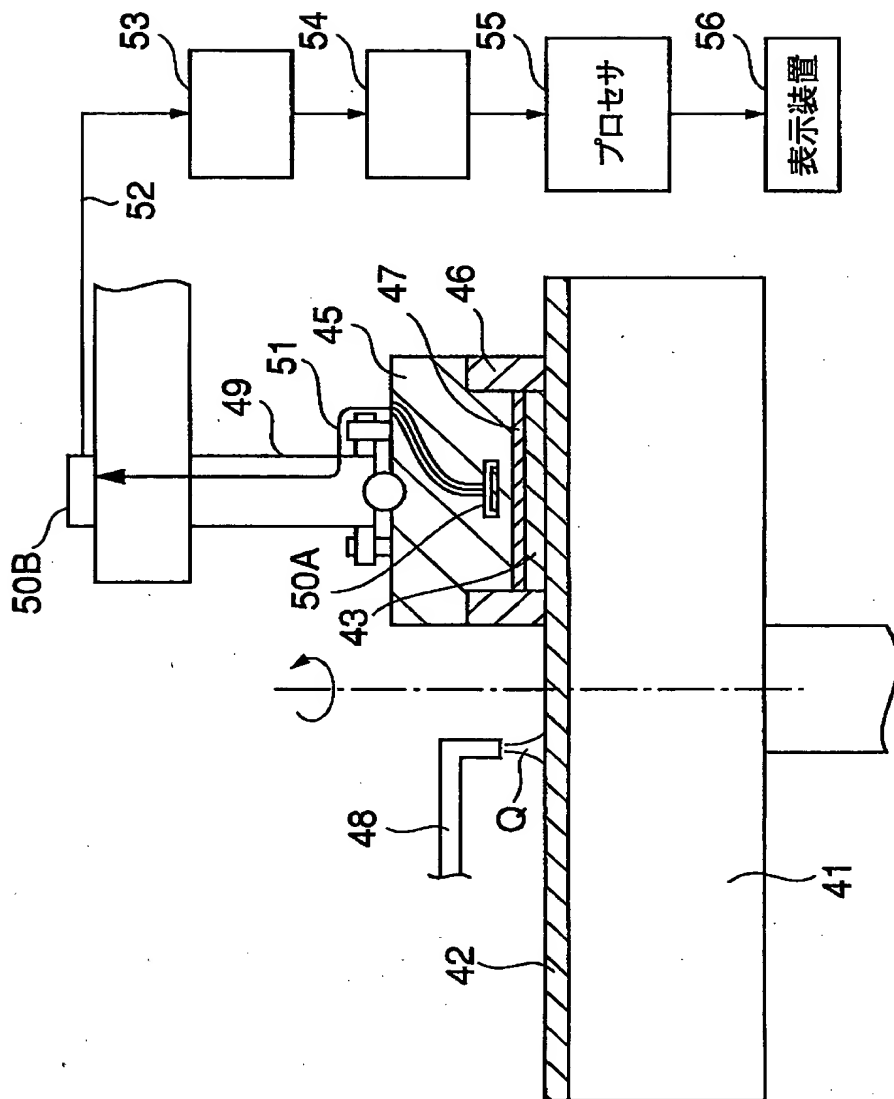
【図 13】



【図14】



【図 15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 安定な動作を可能とすると共に精度の高い研磨終点の検出ができる渦電流センサを提供する。

【解決手段】 導電性膜に生じる渦電流損の変化から導電性膜の膜厚を検出する渦電流センサ 1 0 において、導電性膜に渦電流を生じさせるセンサコイル 1 1 と、コイルに接続され渦電流損に対応して可変周波数を発振する能動素子部 1 2 とが一体的に構成された。また、前記導電性膜に渦電流を生じさせるセンサコイルを備え、該センサコイルと前記導電性膜により形成されるインピーダンスのうち、抵抗成分（R）の変化から前記導電性膜の膜厚の変化を検出する。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2001-222127
受付番号	50101076941
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成13年 7月26日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000000239
【住所又は居所】	東京都大田区羽田旭町11番1号
【氏名又は名称】	株式会社荏原製作所

【代理人】

申請人

【識別番号】	100091498
【住所又は居所】	東京都新宿区西新宿7-5-8 GOWA西新宿 4階渡辺・堀田特許事務所

【氏名又は名称】	渡邊 勇
----------	------

【選任した代理人】

【識別番号】	100092406
【住所又は居所】	東京都新宿区西新宿7-5-8 GOWA西新宿 4階渡辺・堀田特許事務所

【氏名又は名称】	堀田 信太郎
----------	--------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000239]

1. 変更年月日	1990年 8月31日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都大田区羽田旭町11番1号
氏 名	株式会社荏原製作所